APLICAÇÃO DE FUNÇÕES DE PEDOTRANSFERÊNCIA PARA CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS BRASILEIROS EM GRUPOS HIDROLÓGICOS

OTTONI MARQUES MOURA DE LEON[1]; DANIELLE BRESSIANI[2]; EDUARDO LUCEIRO SANTANA[3]; GABRIEL BORGES DOS SANTOS[4]; LUIS FERNANDO DA SILVA MARTINEZ[5]; LUÍS CARLOS TIMM[6]

[1]*Universidade Federal de Pelotas – ottonibaixo@gmail.com*
[2]*Universidade Federal de Pelotas – daniebressiani@gmail.com*
[3]*Universidade Federal de Pelotas – eduardoluceirosantana@hotmail.com*
[4]*Universidade Federal de Pelotas – gabrielqwsantos@gmail.com*
[5]*Universidade Federal de Pelotas – nandoonly4work@gmail.com*
[6]*Universidade Federal de Pelotas – lcartimm@yahoo.com.br*

1. INTRODUÇÃO

O entendimento do comportamento hídrico do solo é fundamental para a compreensão dos processos hidrológicos e ambientais (Faouzi *et al*., 2023). Classificar os solos com base no comportamento hidrológico é uma ferramenta de grande valia para diversas áreas, como gestão de recursos hídricos, irrigação, conservação do solo e previsão de inundações. Além disso, é uma variável essencial para o método SCS-CN (Soil Conservation Soil Curve Number), amplamente utilizado em modelos hidrológicos e um dos principais métodos para a estimativa da vazão.

A classificação de grupo hidrológico do solo (CGHS) é um sistema que agrupa os solos em quatro classes, com base nas taxas de infiltração (Al-GhobarI *et al.*, 2020). No Brasil, é amplamente utilizado para a CGHS o método desenvolvido por Sartori (2004), que trabalha com profundidade, textura de solos e tipo de solo para classificar e agrupar. Nos USA e de maneira geral na modelagem hidrológica, é amplamente adotada a CGHS estabelecida pelo National Engineering Handbook (NRCS, USDA, 2009). A publicação estabelece os parâmetros de profundidade do solo e da Ksat para classificar e agrupar os solos.

A Ksat é uma propriedade essencial para conhecer o comportamento hídrico do solo (Usowicz; Lipiec, 2021). No entanto, medir a Ksat em áreas médias ou grandes é inviável, existindo a necessidade de trabalhar com o dado estimado (Yang *et al*., 2022). Para suprir as demandas por dados sobre parâmetros físico-hídricos do solo, cientistas desenvolveram funções de pedotransferência (PTF). As PTFs são equações matemáticas que utilizam como preditores dados de solo amplamente disponíveis para estimar dados de solo de difícil obtenção (Zheng, *et al*., 2023).

Nas últimas décadas, para estimativa da Ksat, foram desenvolvidas inúmeras PTFs, utilizando diferentes preditores, desenvolvidas por diferentes métodos, com distintos dados de treino e apresentando diferente desempenho (Zhang; Schaap, 2019). O desempenho da estimativa da Ksat pode afetar a CGHS de forma significativa. O objetivo do estudo é compreender o impacto do desempenho de diferentes PTFs na estimativa de Ksat e na classificação do grupo hidrológico do solo.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizado o banco de dados Hydrophysical Database for Brazilian Soil (HYBRAS), desenvolvido por Ottoni *et al.*

(2019). Essa escolha se deu pelo HYBRAS possuir 425 dados observados de Ksat. O processo começou com a curadoria dos dados, onde foram limpos e removidos os dados desnecessários. Foi realizada a CGHS com base em mediadas estabelecidas para dois parâmetros: 1) média entre a amostra de Ksat de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm; 2) profundidade total do solo. Foi utilizada a média entre as duas primeiras amostras para uma representatividade mais precisa do perfil do solo. As PTFs utilizadas neste estudo, descritas na Tabela 1, foram escolhidas com base na simplicidade dos preditores.

Tabela 1: Funções de pedotransferência utilizadas para a realização do estudo.

PTFs	Referência	Dados de treino	Origem dos dados	Clima predominante	Preditores
PTF 1	Cosby et al. (1984)	1448	USA	Subtropical, continental e semiárido.	SA, CL
PTF 2	Ottoni et al. (2019)	425	Brasil e Europa	Tropical e temperado.	SI, CL, BD
PTF 3	Ottoni et al. (2019)	425			SI, CL, BD
PTF 4	Ottoni et al. (2019)	425			SI, CL

PTF - Função de pedotrânferencia, SA - Areia, CL - Argila, SI - Silt, BD - Densidade aparente.

Fonte: Autores

Houve a necessidade de trabalhar com a conversão do resultado das funções e da Ksat observada para que os resultados estivessem na unidade adequada para a classificação dos solos em grupos hidrológicos. Para realizar a CGHS foram utilizados os parâmetros contidos no Capítulo 7 do National Engineering Handbook (NRCS, USDA, 2009). São medidas de profundidade de solo relacionadas às medidas de Ksat para cada grupo de solo, as quatro categorias e os parâmetros estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação do Grupo Hidrológico do Solo.

Grupo	Potencial de geração de escoamento superficial	Profundidade do Solo	Ksat (micrômetros por segundo)
A	Baixo	≥ 50 cm	≥ 40,0
		> 100 cm	> 10,0
B	Moderadamente baixo	> 50 cm	10,0 < Ksat < 40,0
		> 100 cm	4,0 < Ksat < 10,0
C	Possui escoamento quando encharcado	> 100 cm	1,0 < Ksat < 10,0
		> 50 cm	0,40 < Ksat < 4,0
D	Elevado escoamento	> 100 cm	< 1
		< 50 cm	Não especificado

Fonte: Autores com base em NRCS, USDA (2009).

O desempenho estatístico das PTFs, descrito na Tabela 3, foi avaliado por meio de testes como o Erro Quadrático Médio (MSE), o Erro Percentual Absoluto Médio (MAPE), a Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) e o Coeficiente de Determinação (R^2). O desempenho estatístico das funções na CGHS, apresentado na Tabela 4, foi avaliado por meio dos testes Kappa-Cohen, Acurácia Global (AG) e Qui-Quadrado. Os resultados obtidos foram comparados entre a classificação realizada com os dados observados e a classificação baseada em dados estimados. Todas as etapas do presente trabalho foram realizadas no R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho das PTFs para a estimativa de Ksat está expresso na Tabela 3. As colunas estão separadas por função e as linhas por estatística.

Tabela 3: Desempenho das funções de pedotransferência para Ksat.

Estatística	PTF 1	PTF 2	PTF 3	PTF 4
MSE	236,4	222,8	225,1	235,7
MAPE	1415,9	353,2	443,5	537,37
RMSE	15,2	14,9	15,0	15,4
R^2	0,01	0,05	0,02	0,0002

Fonte: Autores.

A PTF 2 apresentou o melhor desempenho, seguida pela função PTF 3. As funções PTF1 e PTF4 tiveram desempenhos similares, com resultados próximos entre si. As funções com o melhor desempenho são as que possuem entre os seus preditores a densidade do solo, propriedade relevante para a Ksat. Zhang e Schaap (2019) afirmam que a inclusão de preditores relevantes gera melhor desempenho. Os resultados dos testes para análise do desempenho estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Desempenho da Classificação do CGHS para diferentes PTFs em comparação ao CGHS estimado com a Ksat observada.

Estatística	PTF 1	PTF 2	PTF 3	PTF 4
Kappa	0,56	0,55	0,54	0,45
AG	0,737	0,716	0,705	0,632
P.valor	1,43E-15	2,60E-17	9,44E-16	1,03E-14

Fonte: Autores.

Para a classificação do grupo hidrológico do solo, o teste Kappa e a Acurácia Global apresentaram que a estimativa de grupos hidrológicos com Ksat estimados pelas PTFs possuem uma boa concordância com os grupos classificados com Ksats observadas, em que a função PTF1 apresentou o melhor resultado. Todos os P-valor apresentaram resultados que apontam uma associação estatisticamente significativa entre a classificação realizada por dados estimados e observados, a PTF 2 apresentou o melhor resultado. Entre os testes aplicados, o Qui-Quadrado refletiu diretamente o desempenho das PTFs, os outros testes aplicados tiveram um desempenho não correlacionado com o das PTFs.

Em relação à classificação dos solos em grupos hidrológicos, grande parte dos resultados da classificação obtiveram plausibilidade, sendo congruentes com a classificação desenvolvida por Sartori *et al.* (2004). É possível afirmar que o Grupo D obteve o número mais expressivo de perfis classificados. Essa predominância se dá por uma limitação nos dados, a maioria dos perfis não possui a informação da profundidade total, uma vez que a maioria dos perfis analisados não possui a informação da profundidade total, mas sim das camadas observadas.

4. CONCLUSÕES

O estudo abordou o impacto do desempenho de PTFs para estimar a Ksat, utilizando essas para executar a CGHS. Embora as PTFs tenham apresentado um baixo desempenho na estimativa da Ksat, o desempenho na CGHS foi satisfatório. Esse resultado é relevante, pois demonstra a possibilidade de utilizar PTFs de preditores simples, como a textura, para obter bons resultados na CGHS. Dessa forma, a metodologia pode ser utilizada em bancos de dados de solos mais extensos, mesmo com limitações em dados mais complexos. Pode gerar uma base de dados valiosa para a gestão de recursos hídricos, principalmente em relação a previsão e prevenção de eventos extremos e na modelagem hídrica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-GHOBARI, Hussein; *et al.* Estimation of surface water runoff for a semi-arid area using RS and GIS-based SCS-CN method. **Water**, v. 12, n. 7, p. 1924, 2020.

COSBY, B. J. *et al.* A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. **Water resources research**, v. 20, n. 6, p. 682-690, 1984.

FAOUZI, Elhousna *et al.* Spatial mapping of hydrologic soil groups using machine learning in the Mediterranean region. **Catena**, v. 232, p. 107364, 2023.

NRCS, USDA. Chapter 7–Hydrologic soil groups in: NRCS–National engineering handbook (NEH), Part 630–hydrology. **USDA NRCS, ashington, DC**, p. 7.1-7.5, 2009.

OTTONI, Marta Vasconcelos *et al*. Pedotransfer functions for saturated hydraulic conductivity using a database with temperate and tropical climate soils. **Journal of Hydrology**, v. 575, p. 1345-1358, 2019.

SARTORI, Aderson; *et al*. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

USOWICZ, Boguslaw; LIPIEC, Jerzy. Spatial variability of saturated hydraulic conductivity and its links with other soil properties at the regional scale. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 8293, 2021

YANG, Yang *et al.* Factors controlling saturated hydraulic conductivity along a typical black soil slope. Soil and Tillage Research, v. 220, p. 105391, 2022.

ZHANG, Yonggen; SCHAAP, Marcel G. Estimation of saturated hydraulic conductivity with pedotransfer functions: A review. **Journal of Hydrology**, v. 575, p. 1011-1030, 2019.

ZHENG, Guanghui *et al.* Pedotransfer functions for predicting bulk density of coastal soils in East China**. Pedosphere**, v. 33, n. 6, p. 849-856, 2023.